

Estabelecimento de Sítios-Específicos Experimentais Visando Imposição e Monitoramento de Estresse Hídrico para Fenotipagem de Cereais

Introdução

Sítio-específico, no âmbito da propriedade rural, é uma forma diferente de explorar a atividade agrícola. Embora não seja um conceito novo, auxilia a compreender a variabilidade espacial e temporal. Os limites de uma área rural geralmente são definidos pelo levantamento topográfico e descrição no registro em cartório, cujo formato, na maioria das vezes, é quadrado ou retangular, devido ao levantamento realizado há muito tempo atrás. Entretanto, as sub-áreas inseridas dentro dos limites dessas áreas podem apresentar, muitas vezes, grandes diferenças nas características de solo e até mesmo no microclima. O sítio-específico, na propriedade rural, é usado para detectar e registrar as diferenças em locais distintos e específicos e, então, conduzir diferentes manejos baseados nas informações geradas. Portanto, sítio-específico, no conceito da propriedade agrícola, consiste no manejo de sub-áreas dentro da área maior, que está delimitada pelo registro de cartório. Muitos agricultores acreditam que fazer manejo em sítio-específico é muito caro e que torna-se irrelevante em regiões semi-áridas. Entretanto, estudos recentes sugerem os benefícios advindos da adoção do sítio-específico e que as técnicas para o seu manejo podem ser utilizadas com custo relativamente baixo.

Diferentemente do conceito descrito para o sítio-específico da propriedade ou da empresa rural, o sítio-específico experimental utiliza a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação (P, D & I) como um novo modo de entender a variabilidade espacial e temporal do espaço físico no qual se inserem estudos da caracterização de deficiências hídricas em material genético promissor tolerante à seca. O desenvolvimento de plantas em solos ácidos e inférteis e sob condições de seca tem sido a metodologia padrão dos programas de pesquisa relativos aos estresses abióticos. No entanto, alguns dos problemas detectados nos experimentos de campo são a alta variabilidade das propriedades do solo (atributos físicos, químicos e biológicos) e a dinâmica da água. Embora haja diferentes arranjos experimentais para o planejamento de ensaios de campo, o efeito da variabilidade espacial do solo sobre a qualidade dos resultados nem sempre é controlado. Com o desenvolvimento de tecnologias, como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), é possível agora identificar e mapear a variabilidade espacial do solo e melhorar o planejamento e as análises dos experimentos.

Informações sobre as condições ambientais podem ser importantes como dados adicionais para as coleções de germoplasma, quando normalmente essas condições estão associadas a diferentes modelos de variabilidade genética, refletindo processos

Autores

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque

Eng. Agr., Ph. D. Embrapa
Milho e Sorgo. Caixa Postal
151 CEP 35701-970 Sete
Lagoas, MG. E-mail:
emilio@cnpms.embrapa.br

Frederico Ozanan Machado Durães

Eng. Agr., Ph. D. Embrapa
Milho e Sorgo. E-mail:
fduraes@cnpms.embrapa.br

Reinaldo Lúcio Gomide

Eng. Agr., Ph. D. Embrapa
Milho e Sorgo. E-mail:
gomide@cnpms.embrapa.br

Camilo de Lélis Teixeira de Andrade

Eng. Agr., Ph. D. Embrapa
Milho e Sorgo. E-mail:
camilo@cnpms.embrapa.br

de adaptação do germoplasma aos fatores ambientais. Muitos estudos dão suporte à hipótese de que a resistência aos estresses abióticos pode ser encontrada nos acessos de germoplasma previamente expostos ao estresse ambiental específico (Hawtin et al., 1996).

Programas de melhoramento genético no Brasil, para as culturas mais importantes, sempre defenderam que as plantas, em condições adversas ou em ambientes desfavoráveis prevalentes nos trópicos, se adaptam aos estresses múltiplos. Um desafio contínuo para os programas de melhoramento no Brasil é gerar genótipos altamente produtivos que tenham tolerância aos diversos estresses abióticos, como alumínio no solo, baixa disponibilidade de fósforo e seca, que é um dos mais importantes, sendo a maior fonte de instabilidade associada à produção de grãos.

A Embrapa tem conduzido vários estudos, incluindo diferentes culturas, em condições de estresse abiótico. A classificação desses esforços pode ser feita em diferentes estratégias dentro de cada programa de melhoramento genético: estudos de fenotipagem preliminar, intermediária e avançada, sob condições de estresses ambientais, como em solos ácidos e com alumínio, tolerância à seca e à alta temperatura e eficiência do uso de nitrogênio e fósforo. Tudo isso tem resultado no melhoramento e no lançamento de novos genótipos (Durães et al., 2004).

A resposta das plantas ao estresse hídrico está associada a seu conteúdo interno de água. Embora os efeitos desse estresse sejam conhecidos, os resultados práticos são pouco significativos. A adaptação das plantas aos ambientes adversos, ou a situações sob fatores sub-ótimos, envolve estresses múltiplos, com interações diretas e indiretas entre si. Por isso, torna-se de grande importância a identificação e a caracterização de genótipos, tanto quanto os estudos sobre a interação e a sobreposição de mecanismos relativos aos aspectos fisiológicos, bioquímicos e moleculares. A elucidação desses mecanismos tornará muito mais fácil os processos de geração de novos materiais genéticos, além de contribuir para o desenvolvimento de técnicas de seleção, que poderão

reduzir o tempo e o trabalho para avaliação de recursos genéticos de tolerância ao estresse hídrico.

Uma plataforma de Pesquisa e Desenvolvimento de novas cultivares, visando tolerância à seca, envolve níveis de conhecimento em genética e tratamentos específicos para cada espécie agrícola, sítio-específico, métodos e protocolos de técnicas para se avaliar o déficit de água no solo e as relações hídricas na planta para cada fase fenológica crítica. Há necessidade de pesquisas em agricultura de precisão que incluem pesquisa, desenvolvimento e inovação (P, D & I), para determinações da variabilidade espacial e temporal do solo e também a criação de novas ferramentas, que incluem medições das propriedades físicas, determinação da influência do manejo e modelos integrados de crescimento de plantas e dinâmica da água (ou do conteúdo de água no solo) e fluxos de nutrientes.

Os objetivos desta publicação são descrever o conceito, os critérios e os métodos para implantação e uso de sítios-específicos experimentais dentro da plataforma Embrapa de fenotipagem de cereais para tolerância à seca, especialmente para as culturas de milho e sorgo. Como parâmetros referenciais, serão considerados os casos específicos dos sítios de Sete Lagoas e Janaúba, para apresentação de alguns resultados obtidos em caráter preliminar.

Metodologia

Informações Gerais

Um ambiente em macro e micro-escala deve ser descrito visando a escolha, preparo, monitoramento e uso de cada sítio-específico. Informações edáficas e das vegetações originais estão contidas no mapa do Delineamento Macroagroecológico do Brasil (Embrapa, 1992/93), na escala de 1: 5 milhões. Esse mapa pode ser usado para identificar regiões segundo as suas condições ambientais, tais como baixa fertilidade do solo, solos ácidos, distribuição pluvial (precipitação pluviométrica mensal média e diferentes déficits hídricos em cada região), o meio ambiente típico do Cerrado e do Semi-árido (Caatinga), os domínios climáticos e as espécies agrícolas do agronegócio

(atual e potencial). Além disso, esse mapa fornece uma visão global da distribuição geográfica de zonas macroagroecológicas do país e seu uso potencial. Iniciando com dados sobre a vegetação, relevo, textura, drenagem, fertilidade e aptidão das regiões, ainda são definidas as regiões destinadas à preservação, ao extrativismo, à pecuária e aos cultivos agrícolas do país. Esse delineamento tem o mérito de servir de base para o planejamento agrícola e ambiental e para o desenvolvimento de pesquisas, enumerado e ordenado por ecorregiões e ecossistemas. Além disso, o mapa pedológico abrange informações do solo durante os últimos 30 anos. Ele permite uma visão panorâmica dos recursos do solo e revela amplas classes de variabilidade predominante. Também incorpora o conhecimento gerado mais recentemente, juntamente com a distribuição de solos, de acordo com a diversidade natural, arranjo espacial e extensão territorial. Esse mapa tem ainda a característica de ser um inventário generalizado e é útil em fornecer normas de orientação para formular políticas de planejamento e empreender programas de desenvolvimento projetados para regiões emergentes do país.

O mapa de solos serve como base do delineamento macroagroecológico do Brasil e representa uma contribuição significativa para o conhecimento dos solos tropicais. Publicações gerais e específicas sobre o assunto estão disponíveis na Embrapa Solos (<http://www.cnps.embrapa.br>). Várias ações estão sendo implementadas com o objetivo de ampliar e oferecer conhecimento sobre o ambiente natural (biótico e abiótico) dos ecossistemas importantes, como os Cerrados e o Semi-árido (Caatinga), dentre outros.

Protocolos para Definição do Sítio-Específico Experimental (SEE)

O sítio-específico experimental de precisão utiliza o denominado “differentially corrected global positioning systems (DGPS, da *Trimble, AG 114*)” e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) para mudar manejos dentro de campos específicos de modo a otimizar os resultados e relatórios. SEE pode ser usado para orientar a variabilidade da produtividade, do controle

de plantas invasoras, de insetos, da água e de nutrientes no solo e, conseqüentemente, genótipos diferentes disponíveis sob cada condição ambiental, por exemplo na condição do próprio déficit hídrico.

Critérios de escolha dos SEE

A escolha dos SEEs para este estudo levou em conta a representatividade dos locais quanto às culturas agrícolas mais expressivas, observando-se os aspectos econômicos e sociais, além das exigências do zoneamento agroecológico, e às épocas de cultivo e respectiva duração do ciclo de estresse hídrico a ser imposto. Portanto, foi relevante observar o impacto do clima dos locais escolhidos sobre as culturas, os quais foram predominantemente nas regiões de Cerrado e de Caatinga (clima semi-árido).

Na Tabela 1, estão as coordenadas e as respectivas altitudes de todos os SEEs selecionados para o estudo de fenotipagem de milho, sorgo, arroz, trigo, feijão e feijão caupi, visando tolerância à seca. Há sítios para estudos básicos, intermediários e avançados, os quais ainda não foram classificados, exceto dois para estudos avançados (Sete Lagoas e Santo Antônio de Goiás).

Todos os sítios são georreferenciados com um DGPS, da *Trimble, AG 114*. Grids de amostragem de 25 x 25 m deverão ser estabelecidos utilizando-se também o DGPS, nos quais amostras de solo serão coletadas (para posteriores análises físicas, químicas etc.) nas profundidades: 0-10; 10-30 e 30-50 cm. As descrições do perfil dos solos serão realizadas para fins de classificação de solo.

Métodos de Caracterização dos Sítios

Tipo de Solo e Relações Solo-Água-Planta

As características do perfil de solo incluem composição, textura, estrutura, densidade e porosidade, além da interação entre o solo, a água e o ar. É importante conhecer as interações entre o solo e a água, que incluem o conteúdo de água do solo, como o solo retém água e a tensão da água do solo. Conhecendo-se essas interações, pode ser muito útil para fazer o plantio, o manejo da cultura e as decisões

Tabela 1. Localização dos sítios-específicos (SEEs) de fenotipagem visando tolerância à seca nas diversas regiões brasileiras.

Estado	Localização	Longitude Oeste (°)	Latitude Sul (°)	Altitude (m)
MG	Sete Lagoas*	44,2467	19,4658	761
MG	Janaúba	43,3089	15,8025	533
DF	Planaltina	47,6142	15,4528	944
GO	Santo Antonio de Goiás*	49,1711	16,2811	823
GO	Porangatu	49,1486	13,4408	396
PE	Petrolina	40,5008	9,3986	376
SE	Simão Dias	37,8111	10,7383	263
SE	Aracaju	37,0717	10,9111	4
SE	Propriá	36,8403	10,2111	14
PI	Teresina	42,8019	5,0892	72
PI	Parnaíba	41,7767	2,9047	5
RS	Passo Fundo	52,4067	28,2628	687

* sítios selecionados preliminarmente para estudos de fenotipagem avançada.

de irrigação. O crescimento da planta depende do uso de dois importantes recursos naturais: solo e água. O solo fornece o necessário suporte mecânico e de nutrientes para o desenvolvimento da planta. A água é essencial para os processos vitais da planta. O manejo efetivo desses recursos para a produção da cultura requer o entendimento das relações entre solo, água e planta.

Propriedades do Solo

Dentre as propriedades mais importantes do solo para análises se destacam:

1. Física: granulometria, classificação textural, densidade, porosidade, agregados, infiltração de água, capacidade total de água disponível (CAD), curva de retenção.
2. Química: a mínima série de dados de indicadores químicos das condições do solo são matéria orgânica (M.O., C orgânico total e N), pH, condutividade elétrica, N, P e K extraíveis, de acordo com Doran e Parkin (1996). Em regiões que possuem solos ácidos, com problemas de alumínio tóxico no seu perfil, informações da saturação de bases têm um papel importante nas camadas desse perfil (em 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm).
3. Biológica: biomassa microbiana de C e N, o N potencialmente mineralizável (incubação anaeróbica), a respiração do solo, o conteúdo de água e a temperatura do solo, de acordo com Doran e Parkin (1996).

Muitas propriedades básicas do solo são úteis para estimar outras propriedades ou atributos do solo que

são difíceis ou muito caros de se medirem diretamente. Uma listagem mínima desses indicadores básicos de entradas de variáveis e seus respectivos atributos, que podem ser estimados, é apresentada por Doran e Parkin (1996).

Essa recomendação mínima dos indicadores da qualidade do solo forma o contexto primário para a maioria dos métodos discutidos para os sítios-específicos experimentais dentro da plataforma de fenotipagem visando o estresse abiótico, principalmente o estresse hídrico.

Caracterização Climática

1. Balanço Hídrico Climatológico

O balanço hídrico nada mais é do que a contabilização da água do solo, ou seja, uma forma de medir a quantidade que entra e sai desse solo. As entradas são representadas pela precipitação, irrigação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral e ascensão capilar e as saídas ou perdas representadas pela evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda (Sentelhas et al., 1999).

Segundo Sentelhas et al. (1999), considerando-se que o orvalho representa uma contribuição com ordem de magnitude muito pequena (no máximo 0,5 mm/dia), que as entradas e perdas por escoamento superficial e drenagem lateral tendem a se compensar, o balanço hídrico pode ser expresso da seguinte maneira:

$$\pm \Delta Arm = P + I - ET + AC - DP \quad (\text{Eq. 01})$$

A precipitação (P) e a irrigação (I), responsáveis pela quantidade de água recebida pelo solo normalmente, podem ser medidas de maneira mais fácil; já a ascensão capilar (AC), comum em períodos secos, e a drenagem profunda (DP), mais comum em períodos extremamente chuvosos, demandam um conhecimento de física dos solos para a sua determinação. É necessária efetivamente a determinação da variável evapotranspiração (ET) para que se possa conhecer a disponibilidade hídrica do solo, ou seja, o seu armazenamento (Arm).

O balanço hídrico climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), citados por Sentelhas

et al. (1999), é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo, tanto em escala diária quanto em escalas maiores, como a mensal, utilizando-se valores médios de vários anos (normal climatológica). Através da entrada desses dados, fornece estimativas da evapotranspiração real (ET_r), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água do solo (Arm).

Esse balanço hídrico climatológico torna-se, assim, um indicador da disponibilidade hídrica em uma região para um grupo de culturas.

O balanço hídrico é uma ferramenta útil em diversas áreas do conhecimento. Por exemplo, na meteorologia agrícola delimita as áreas do mesmo potencial hídrico; na irrigação determina as deficiências hídricas de uma região. Ainda os resultados podem ser utilizados para fins de zoneamento agroclimático, da demanda potencial de água das culturas irrigadas e no conhecimento do regime hídrico.

2. Determinação da Evapotranspiração de Referência (ET_o)

Além da necessidade de se coletar dados da precipitação pluviométrica para se obter o balanço hídrico climatológico, é preciso também obter outras variáveis climáticas, principalmente aquelas fundamentais para a estimativa da evapotranspiração. Antes, porém, da determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), potencial ou real (ET_r), é importante obter a evapotranspiração de referência (ET_o).

A nova conceituação de ET_o é considerada como sendo a taxa de ET de uma cultura hipotética, com uma altura uniforme de 0,12m, resistência do dossel da cultura de 70 s^m e albedo de 0,23. Esse conceito de ET_o assemelha-se, bem de perto, à ET de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo completamente a superfície do solo e sem restrição de umidade. O método combinado de Penman-Monteith tem fornecido melhores resultados de estimativa da ET_o para o caso dessa cultura hipotética de referência, atendendo tanto à definição original de ET potencial de Penman quanto ao conceito de ET_o da FAO.

Para fins de padronização dos procedimentos de cálculos da nova proposta da ET_o, para estimativas de 24 horas, a seguinte equação combinada de Penman-Monteith foi proposta (Smith, 1991; Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma} \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d) \quad (\text{Eq. 02})$$

em que ET_o é a evapotranspiração de referência da cultura hipotética, mm d⁻¹; R_n é o saldo da radiação, MJ m⁻² d⁻¹; G é o fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹; T é a temperatura do ar, °C; U₂ é a velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹; (e_a - e_d) é o déficit de pressão de vapor do ar, kPa; δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹; λ é o calor latente de evaporação da água, MJ kg⁻¹; γ é a constante psicrométrica modificada, kPa °C⁻¹ (= 1 + 0,33 U₂) e 900 é o fator de conversão kJ⁻¹ kg K.

O instrumental mínimo necessário numa estação climatológica para a determinação da ET_o pelo método de Penman-Monteith são: piranômetro, radiômetro ou heliógrafo ou saldo-radiômetro, anemômetro ou anemógrafo, termômetros de bulbos seco e úmido ou termo-higrógrafo, barômetro ou barógrafo, pluviômetro ou pluviógrafo. Tanto nos sítios de Sete Lagoas quanto no de Janaúba há estações climatológicas automáticas (da *Campbell Scientific* – Figuras 1 e 5) que monitoram diariamente todas as variáveis climáticas necessárias ao cálculo de ET_o pelo método de Penman-Monteith (equação 2). Além disso, com esses dados podem-se estimar coeficientes de cultura (K_c). Também no sítio de Sete Lagoas está instalado um tanque Classe A (à esquerda da Figura 1), que é utilizado também para fazer aferições no coeficiente de tanque (K_p). Sugere-se que em todos os sítios sejam instalados tanques Classe A.

Manejo da água de irrigação, da imposição do estresse hídrico e monitoramento da umidade do solo

O manejo da irrigação significa a aplicação da água no tempo e na quantidade corretos. Para manejar a água da irrigação, é necessário que se utilize também um método para medir ou monitorar a umidade do solo combinado com algum critério de programar a

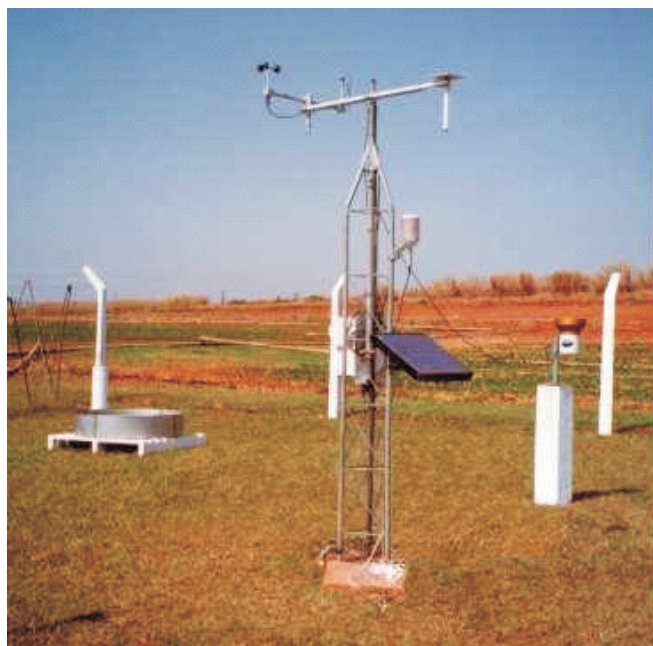


Figura 1. Estação climatológica automática (*Campbell Scientific*) para aquisição de dados de clima nos sítios-específicos de Sete Lagoas, MG.

irrigação. O conteúdo de água no solo indica a quantidade de água armazenada no solo num determinado tempo. Os conceitos mais comuns relativos ao conteúdo de água no solo são: ponto de saturação, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e secagem em estufa. Os níveis de umidade do solo se expressam em termos de conteúdo de água do solo (porcentagem de água por peso ou volume, ou mm de água por cm de solo) ou por potencial de água do solo (ou tensão do solo). A água no solo é classificada como disponível entre os potenciais correspondentes à capacidade de campo (-10 a -30 kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500 kPa). Há possibilidade da ocorrência de estresse na planta e perda de produtividade após a *água facilmente disponível* ser ultrapassada. A água facilmente disponível é a porção da água total disponível (CAD) que é de uso relativamente fácil pela planta e é comum considerá-la cerca de 50% da CAD. Medições da umidade do solo são partes integrantes de qualquer programa de manejo de irrigação. Essa umidade pode ser medida ou estimada de diversos modos, desde um método simples de baixo custo até os mais caros como, por exemplo, as sondas de nêutrons.

Para o caso de manejo de irrigação, que inclui a fenotipagem preliminar, um dos vários tipos de blocos de resistência elétrica ou tensiômetros é recomendado, com as aferições realizadas pelo método gravimétrico (Reichardt, 1996). Na fenotipagem avançada, métodos mais específicos devem ser usados, cujas descrições podem ser vistas em Werner (2002), dentre os quais podem-se citar: sondas para medir a umidade no perfil do solo, como por exemplo a TDR (*Time Domain Reflectometry*); técnicas do balanço de energia/razão de Bowen e da termometria a infravermelho, para determinar índices de estresse hídrico etc.

Resultados e Discussão

Casos específicos dos sítios de Sete Lagoas e Janaúba

Sítio-específico de Sete Lagoas

Características edafoclimáticas

A classificação do clima de Sete Lagoas, segundo Köppen, é Cwa, ou seja, clima de savana, com inverno seco, temperatura do mês mais frio menor que 18°C. A temperatura média anual (dos últimos 60 anos) é de 22,1°C e a amplitude térmica está em torno de 5°C. A precipitação pluvial média anual está por volta de 1300 mm e a estação chuvosa se apresenta num período bem definido, ocorrendo a precipitação máxima em dezembro (média de 290 mm) e a mínima em agosto (menos de 8 mm).

A evapotranspiração de referência (ET_o), de acordo com o método de Penman-Monteith, se apresenta menor em junho, com média diária de 2,4 mm, e maior em outubro, cuja média diária atinge 4,0 mm.

O solo representativo do sítio é classificado como Latossolo Vermelho, distrófico, de textura muito argilosa. A localização dos horizontes no perfil desse solo, até uma profundidade de 150 cm, foi realizada e é mostrada na Tabela 2. A água total disponível - CAD (quantidade de água retida entre os potenciais de -10 e -1500 kPa) fica em torno de 100 mm.m⁻¹ de solo. Uma curva de retenção para esse solo, segundo um modelo matemático potencial (Albuquerque, 1997), é mostrada na Figura 2.

As amostragens de solo nos grids de 25 x 25 m estão em curso, para verificação da variabilidade espacial das propriedades do solo deste sítio.

Tabela 2. Algumas características físicas do solo do sítio de Sete Lagoas, segundo o horizonte apresentado no perfil.

Profundidade (cm)	Horizonte	Areia (g.kg ⁻¹)	Silte (g.kg ⁻¹)	Argila (g.kg ⁻¹)	Classificação textural	Densidade (kg.m ⁻³)
0 - 18	A _p	110	180	710	Muito argiloso	930
18 - 50	AB	100	100	800	Muito argiloso	1010
50 -150	B	100	0	900	Muito argiloso	920

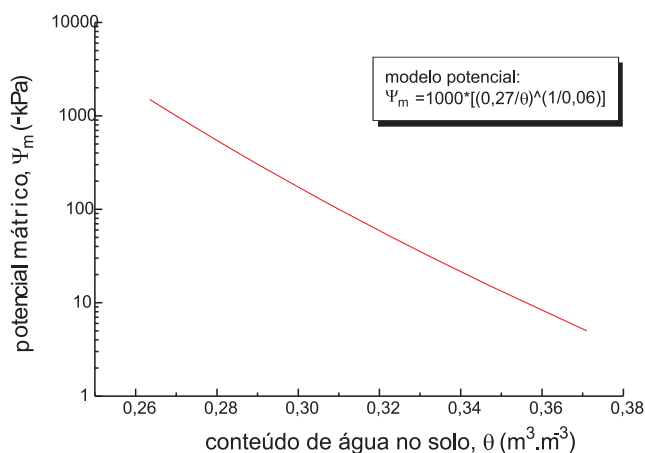


Figura 2. Curva de retenção do solo (modelo potencial) do solo típico do sítio experimental de Sete Lagoas (Albuquerque, 1997).

Balanço hídrico

A Figura 3 apresenta o balanço hídrico, segundo Thornthwaite e Matter (1955), citados por Sentelhas et al. (1999), para o sítio de Sete Lagoas, utilizando-se a série histórica de dados climáticos dos anos de 1961 a 1990. Observa-se um período de déficit hídrico bem definido entre os meses de maio e setembro, ocasião que coincide com a estação de inverno, ou seja, fria e seca. Foi considerada uma CAD de 100 mm, o que está de acordo com o solo típico do sítio. Os maiores déficits ocorrem nos meses de setembro e outubro (em torno de 40 mm por mês). Em abril, o déficit é muito pequeno (em torno de zero), mas é a partir de maio que começa a se elevar. Por outro lado, os grandes excessos estão nos meses de dezembro e janeiro (acima de 150 mm).

Sistema e manejo de irrigação e monitoramento da umidade do solo

O sistema de irrigação empregado no sítio de Sete Lagoas é unicamente a aspersão convencional, normalmente com espaçamento de 18 m entre linhas laterais e 12 m entre aspersores (Figura 4). Sempre

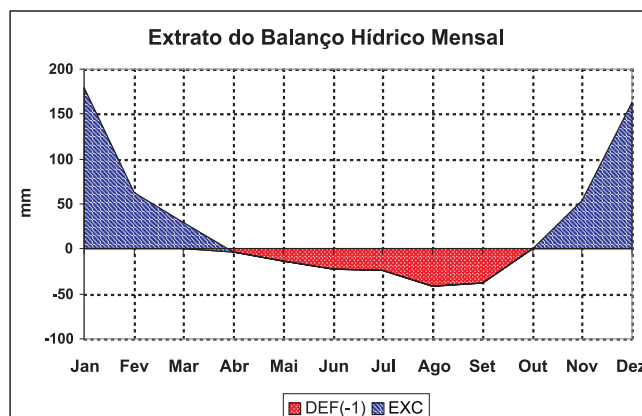


Figura 3. Balanço hídrico climatológico, segundo Thornthwaite e Matter (1955), citados por Sentelhas et al. (1999), para o sítio-específico de Sete Lagoas (CAD = 100 mm).

que se deseja controlar a lâmina de água aplicada, distribuem-se coletores (pluviômetros) entre 4 aspersores. Esses coletores ficam equidistantemente espaçados, normalmente entre 2 e 3 metros. O manejo de irrigação é realizado mediante o uso de



Figura 4. Sistema de irrigação por aspersão convencional em cultura de milho no sítio de Sete Lagoas, MG.

uma planilha eletrônica já desenvolvida especificamente para tal (Albuquerque e Andrade, 2001), que usa a metodologia do balanço de água no solo para prever as datas e as lâminas de irrigação. Dados da estação climatológica automática (Figura 1) são necessários para suprir a planilha com a precipitação pluviométrica ocorrida e a evapotranspiração de referência (ET_o) diária, já previamente calculada pelo método de Penman-Monteith.

O monitoramento da umidade do solo é feito com tensiômetros, providos de tensímetros, e sensores de resistência elétrica (Bouyoucos – da *Watermark* - e

Colman – da *Soilmoisture*) normalmente instalados nas profundidades de 20, 40 e 60 cm. Esses são calibrados em laboratório e periodicamente são aferidos com o método padrão de estufa (gravitacional).

Sítio-específico de Janaúba

Características edafoclimáticas

O sítio-específico de Janaúba possui uma precipitação média anual de 873,5 mm, temperatura média de 24,7°C e umidade relativa do ar média de 65%. Segundo a classificação de Köppen, o clima típico é Aw, isto é, de savana com inverno seco e

temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18°C. A evapotranspiração de referência (ET₀), determinada segundo a metodologia de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), apresenta para esse local valor mínimo no mês de junho (média diária nesse mês em torno de 3,4 mm) e valor máximo no mês de outubro (média diária nesse mês em torno de 5,0 mm). Como em Sete Lagoas, há instalada no local uma estação climatológica automática (Figura 5).

O solo representativo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, epi-eutrófico, de textura franco-argilo-arenoso para uma camada de 0-20 cm (120 g.kg⁻¹ de areia grossa, 370 g.kg⁻¹ de areia fina, 210 g.kg⁻¹ de silte e 300 g.kg⁻¹ de argila). O modelo de van Genuchten (1980) foi utilizado para traçar a curva de retenção de água do solo predominante no sítio (Figura 6). A densidade desse solo numa camada de 0-20 cm é

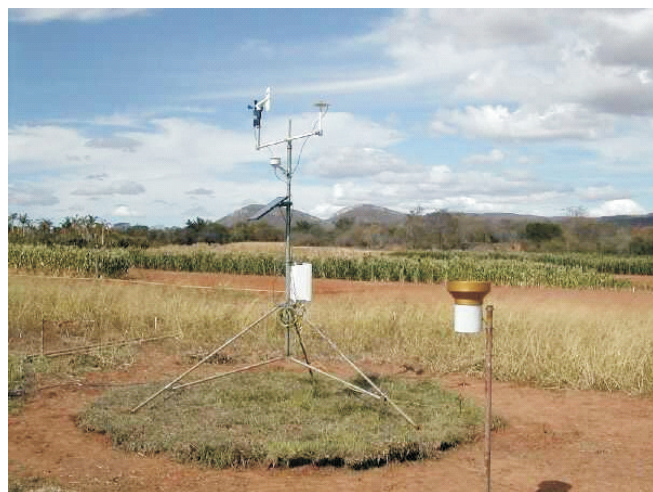


Figura 5. Estação climatológica automática (*Campbell Scientific*) para aquisição de dados micrometeorológicos do sítio-específico de Janaúba.

de 1590 kg.m⁻³ e na camada de 20-40 cm é de 1650 kg.m⁻³.

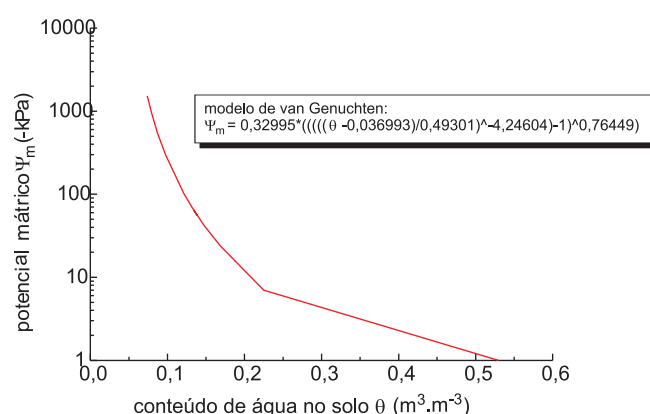


Figura 6. Curva de retenção de água do solo do sítio-específico de Janaúba.

Igualmente como ocorre no sítio de Sete Lagoas, as amostragens de solo nos grids de 25 x 25 m estão em curso para verificação da variabilidade espacial das propriedades do solo.

Balanço hídrico

A Figura 7 apresenta o balanço hídrico, segundo Thornthwaite e Matter (1955), citados por Sentelhas et al. (1999), para o sítio de Janaúba, utilizando-se a série histórica de dados climáticos dos anos de 1977 a 1990. Observa-se um período de déficit hídrico bem definido entre os meses de março e novembro, ocasião em que coincide com e também ultrapassa a estação de inverno. Observa-se que o sítio de Sete Lagoas (Figura 3) possui a duração do período de déficit bem menor. Os maiores déficits em Janaúba ocorrem nos meses de julho a outubro (acima de 70 mm por mês). Em fevereiro e março, os déficits são mínimos (entre 2 e 5 mm por mês), mas a partir de abril ocorre uma elevação abrupta, terminando somente em novembro. Por outro lado, o excesso somente ocorre no mês de janeiro (em torno de 45 mm).

Sistema e manejo de irrigação e monitoramento da umidade do solo:

Os sistemas de irrigação empregados no sítio de Janaúba são aspersão convencional, normalmente com espaçamento de 18 m entre linhas laterais e 12 m entre aspersores (Figura 8), e gotejamento. Na aspersão, sempre que se deseja controlar a lâmina de água aplicada, distribuem-se coletores (pluviômetros)

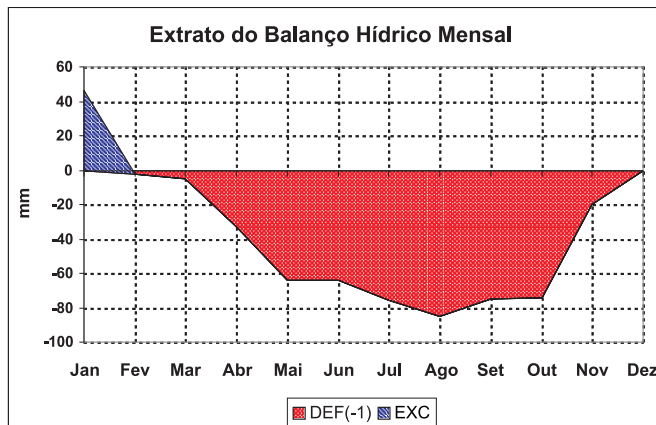


Figura 7. Balanço hídrico climatológico, segundo Thornthwaite e Matter (1955), citados por Sentelhas et al. (1999), para o sítio-específico de Janaúba (CAD = 100 mm).



Figura 8 - Sistema de irrigação por aspersão convencional em ensaio de sorgo no sítio de Janaúba.

entre 4 aspersores. Esses coletores ficam equidistantemente espaçados, normalmente entre 2 e 3 metros. Controla-se o volume de água aplicada no gotejamento através de hidrômetros.

Atualmente, o sistema de irrigação por aspersão implantado serve ao ensaio de sorgo (Figura 8) e o sistema de gotejamento serve ao do milho.

Como em Sete Lagoas, o manejo de irrigação é realizado mediante o uso da planilha eletrônica (Albuquerque e Andrade, 2001). Também os dados da estação climatológica automática (Figura 5) suprem a planilha com a precipitação pluviométrica ocorrida e a evapotranspiração de referência (ET_o) diária, já previamente calculada pelo método de Penman-Monteith.

Para o monitoramento da umidade do solo durante os ensaios, são empregados sensores de resistência elétrica (Bouyoucos e Colman) instalados nas profundidades de 20, 40 e 60 cm. Esses são calibrados em laboratório e periodicamente são aferidos com o método padrão de estufa (gravitacional).

Conclusões e Recomendações

Focando a fenotipagem visando a estudos de estresse hídrico, pode-se concluir que o Brasil apresenta as mais diversificadas condições edafoclimáticas e, por isso, é de grande relevância investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação (P, D & I) nessa área. Os casos específicos dos sítios apresentados, Sete Lagoas e Janaúba, corroboram o fato da diversidade edafoclimática. Ambos são diferentes no clima e no tipo de solo onde se inserem. Enquanto Sete Lagoas apresenta uma estação chuvosa de duração mais ampla e com maior volume de precipitação pluviométrica, Janaúba apresenta uma estação chuvosa de duração menor e de volume total anual precipitado menor, apesar desse período chuvoso ocorrer com maior intensidade na mesma época (dezembro e janeiro) em ambos. Janaúba apresenta as mais altas demandas evaporativas, por apresentar maior intensidade da radiação solar e de velocidade do vento.

Os solos desses locais também possuem características diferenciadas no que concerne às suas propriedades físico-hídricas. Sete Lagoas apresenta um solo de alta taxa de infiltração de água e média capacidade de retenção de água, ao passo que Janaúba apresenta um solo com alta capacidade de retenção e algum problema com a taxa de infiltração, principalmente por possuir alto teor de silte, o que favorece o selamento superficial, após o processo de secagem em seguida a uma chuva ou à irrigação.

As tentativas para conhecer e melhorar a infraestrutura dos sítios-específicos têm sido objeto de grande empenho, entretanto ainda há muito o que se fazer. Processos futuros de observações e de conhecimentos da variabilidade espacial e temporal deverão ser implementados, além de melhorar a precisão das medições das variáveis de solo, clima e

planta. Para isso, melhorar a infra-estrutura dos sítios-específicos e investir em recursos humanos com treinamento será de vital importância para cumprir essas importantes metas.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Evapotranspiração, balanços de energia e da água no solo e índices de estresse hídrico da cultura , em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), submetido a diferentes frequências de irrigação.** 1997. 147 f. Tese(Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2001. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo.Circular Técnica, 10).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.) **Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 25-37. (SSSA. Special Publication, 49).

DURÃES, F. O. M.; SANTOS, M. X.; GAMA, E. E. G.; SANTOS, F. G.; GUIMARÃES, C. M.; TRINDADE, M. G.; LOPES, M. A. A phenotyping platform supporting breeding and genomics programs of cereals and legumes at Embrapa – Brazil. In: DROUGHT

PHENOTYPING PROTOCOLS WORKSHOP, 2004, Montpellier.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Delineamento macroagroecológico do Brasil:** escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 1992/93. 1 Mapa color., escala 1:5.000.000.

GENUCHTEN, M.Th. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

HAWTIN, G.; IWANAGA, M.; HODGKIN, T. Genetic resources in breeding for adaptation. **Euphytica**, Wageningen, v. 92, p. 255-266, 1996.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas.** 2. ed. Piracicaba: USP-ESALQ, 1996. 505 p.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia agrícola.** Piracicaba: Universidade de São Paulo-Departamento de Ciências Exatas, fevereiro, 1999. p. 46-70.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome: FAO-Land and Water Development Division, 1991. 45 p.

WERNER, H. *Measuring soil moisture for irrigation water management.* In: SDSU College of Agriculture & Biological Sciences. South Dakota State University, Brookings, SD, USA. 2002. Disponível em: <<http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/FS876.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2005.

Circular Técnica, 61

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: MG 424 Km 45 Caixa Postal 151 CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3779 1000

Fax: (31) 3779 1088

E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição

1ª impressão (2005): 200 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira

Secretário-Executivo: Paulo César Magalhães

Membros: Camilo de Lélis Teixeira de Andrade, Cláudia Teixeira Guimarães, Carlos Roberto Casela, José Carlos Cruz e Márcio Antônio Rezende Monteiro

Expediente

Supervisor editorial: Clenio Araujo

Revisão de texto: Clenio Araujo

Editoração eletrônica: Dilermando Lúcio de Oliveira